جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و چهارم، تابستان ۱۳۹۹

صص ۹۹- ۸۳

DOI: https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i2.87137

مقاله پژوهشی

تحلیل زمانی _ مکانی جزیرهٔ حرارتی شهر ارومیه با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

ساجده مرادی[۱]- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

محمد حسین رضائی مقدم- استاد ژئومرفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱٤ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/٦/۲۲

چکیده

در این پژوهش جهت تحلیل زمانی و مکانی جزیرهٔ حرارتی شـــهر ارومیه، تصـــاویر لندســـت مربوط به ماه اوت سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفت. جهت استحصال نقشه‌های جزیرهٔ حرارتی، دمای سطح زمین با روش حد آستانهٔ NDVI و قانون پلانک بر اساس محاسبات آرتیس و کارناهان برای تصاویر TM و الگوریتم پنجرهٔ مجزا برای تصـویر OLI/TIRS محاسـبه شـد. با اسـتفاده از تصـاویر NDVI و نقشه‌های کاربری اراضـی، ارتباط دمای سـطحی با پوشـش گیاهی و کاربری‌های مختلف مورد بررسـی قرار گرفت. نتایج نشان داد در طول مدت مورد مطالعه طبقات دمایی خنک و بســیار خنک، کاهش داشــته و در اوت ســال ۲۰۱۸ جزایر حرارتی جدیدی ایجاد شده است که به کارگاه‌های تولیدی، صنعتی، سوله‌ها و زمین‌های بایر در قسمت شرق، شمال‌شرق و جنوب شـرق شـهر مربوط اسـت. بررسی روند تغییرات زمانی جزیرهٔ حرارتی شهر ارومیه نشان داد که شاخص جزیرهٔ حرارتی روند افزایشـی داشـته است. این شاخص در سال ۱۹۸۹ با میزان ۰/۲ به ۰/۳۷ در سال ۲۰۱۸ رسیده است؛ بنابراین علاوه بر گسترش فضایی جزیرهٔ حرارتی، شدت آن نیز افزایش داشته است.

کلیدواژه‌ها: جزیرهٔ حرارتی، دمای سطح زمین، الگوریتم پنجرهٔ مجزا، تغییرات کاربری، ارومیه.

[۱] نویسنده مسئول: ۰۹۱٤۸۳٤٤۳۷۵

Email : sajedehmorady@gmail.com

۱- مقدمه

شــهرها در اغلب موارد، شــرایط اقلیمی‌خاصــی را تجربه می‌کنند که به آن اقلیم شــهری گفته می‌شــود (رز و دیواداس[1]، ۲۰۰۹). دما یکی از مؤلفه‌های مهم اقلیم در هرمنطقه می‌باشــد که با تغییر و نوسان آن، علاوه بر تغییر در دیگر عناصــر اقلیمی، اثرات زیانباری را بر روی جوامع انســانی و دیگر اکوســیســتم‌های طبیعی کرۀ زمین بر جای می‌گذارد (ارسلانی و همکاران، ۱۳۹۱). مطالعات متعددی که بر روی توزیع حرارت مناطق شهری صورت گرفته، نشان می‌دهد، شــهرها نســبت به پیرامون خود دمای بیشــتری دارند (صادقی نیا و همکاران،۱۳۹۱). اصطلاح جزیرۀ حرارتی شــهری[2]، پدیده تغییر دمای مناطق شــهری در مقایســه با مناطق پیرامون آن را توصیف می‌کند. اثرات جزیرۀ حرارتی شــهری شــامل: افزایش مصــرف انرژی وآب، افزایش آلودگی هوا و تداخل در آســایش حرارتی می‌باشد. (هاشمی‌و همکاران، ۱۳۹۸) .جزیرۀ حرارتی سطحی به واسطۀ استفاده از سنجش از دور مادون قرمز حرارتی و سنجش از دور هوایی، از طریق دمای سطح زمین مشخص می‌شود. سنجش‌از دور، روشی یکپارچه و جامع برای مطالعۀ آثار جزیرۀ حرارتی ســطوح شهری در مقیاس منطقه‌ای فراهم می‌کند (هوآ و ونگ[3]، ۲۰۱۲). مطالعات بسیاری دربارۀ استخراج دمای ســطح زمین ازطریق داده‌های حرارتی ماهواره از سال ۱۹۹۰ انجام شده است. روش‌های به کار گرفته شده را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: روش تک باندی یا الگوریتم تک پنجره، روش چند باندی یا الگوریتم پنجرۀ مجزا و روش چند زاویه (جین[4] و همکاران، ۲۰۱۵). در میان این روش‌ها الگوریتم پنجرۀ مجزا بیشتر به کار گرفته شده است. (دو[5] وهمکاران،۲۰۱۵). در بســیاری از تحقیقات، استخراج دمای سطح زمین از طریق الگوریتم پنجرۀ مجزا صورت گرفته است. محققین در این پژوهش‌ها، الگوریتم پنجرۀ مجزا را به عنوان روشی مناسب برای استخراج دمای سطح زمین معرفی نموده‌اند (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ ولیزاده کامران و همکاران، ۱۳۹٦؛ جین[6] و همکاران، ۲۰۱۵؛ رونگالی[7] و همکاران، ۲۰۱۸). در تحقیقات مختلف مربوط به جزیرۀ حرارتی، تأثیر یک یا چند عامل در افزایش دمای سطحی یا محســوس مورد توجه محققین قرارگرفته است. اغلب در بررسی جزیرۀ حرارتی، تأثیر کاربری‌ها بر جزیرۀ حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. از نمونۀ پژوهش‌ها در این زمینه، تحقیقی است که در آن با استفاده از تکنیک سنجش از دور (RS) [8] و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS),[9] و با استفاده از تصاویر TM [10] و ETM+ [11] دمای سطح زمین

1 Rose & Devadas, 2009
2 UHI:(Urban Heat Island)
3 Hua & Wang,. 2012
4 Jin et al., 2015
5 Du et al., 2015
6 Jin et al., 2015
7 Rongali et al., 2018
8 Remote Sensing
9 Geographical Information System
10 Thematic Mapper
11 Enhanced Thematic Mapper

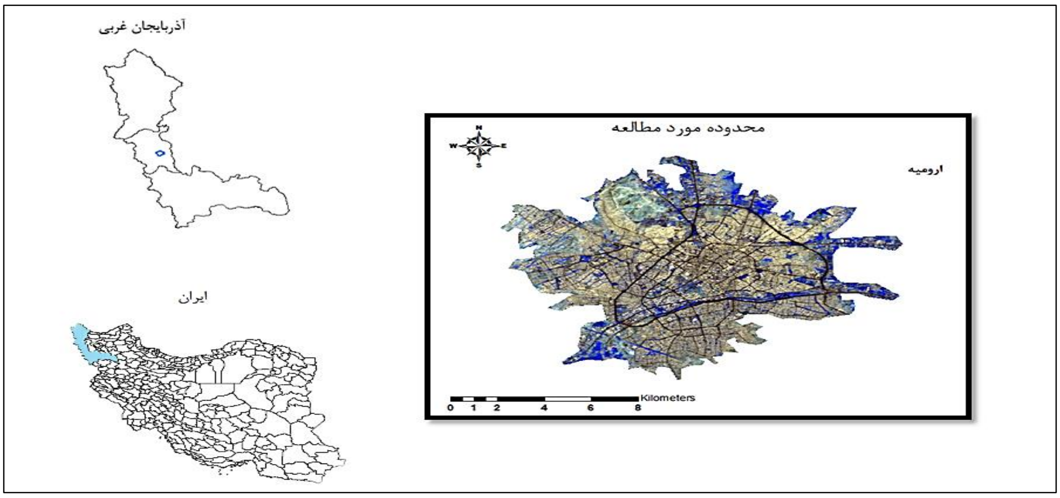
(LST[1]) در ارتباط با تغییرات کاربری زمین در شــهر انیگبا در نیجریه مورد بررســی واقع شــد. نتایج نشــان داد که تغییرات زمانی - فضــایی کاربری‌ها، افزایش دمای ســطحی کاربری‌ها را در هریک از آن‌ها شدت بخشیده است. از جمله با افزایش زمین‌های بایر و نواحی مسکونی، دما به طور سالانه افزایش‌یافته است و همچنین با کاهش مساحت پوشــش گیاهی و نواحی آبی و تالاب‌ها، دمای سطح زمین دراین نواحی به میزان ۰/۰۸- ۰/۰۷ درجۀ سلسیوس در سال افزایش یافته است (الوسیی[2]و همکاران،۲۰۱۱). در پژوهشی دیگر بررسی جزیرۀ حرارتی در اسکوپیه با استفاده از شــاخص گیاهی تفاضــلی نرمال شــده (NDVI)[3] و شــاخص ســطوح نفوذ ناپذیر تفاضلی نرمال شده (NDBI[4]) صورت گرفت. نتایج حاکی از این بود که شاخص پوشش گیاهی در تضعیف جزیرۀ حرارتی مؤثر بوده و شاخص NDBI با دمای ســطحی همبســتگی مثبتی نشــان می‌دهد که بیانگر تاثیرگذاری نواحی ســاخته شده برتشدید جزیرۀ حرارتی اســت (کاپلان[5] و همکاران،۲۰۱۸). با توجه به امکان ارزشمندی که سنجش از دور در فراهم‌سازی تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت بالا و سیستم اطلاعات جغرافیایی در ایجاد پایگاه داده، یکپارچه سازی، تحلیل و ایجاد نقشه‌ها در اختیار محققین قرار می‌دهد، بررسی همه‌جانبۀ این مخاطره سهولت پیدا می‌کند. هدف از بررسی جزیرۀ حرارتی در این تحقیق، تحلیل مکانی-زمانی این مخاطره است تا مکان‌های شکل گیری جزایر حرارتی در ارتباط با کاربری‌های اراضی شناسایی شود. در تحقیقات محدودی که پیرامون جزیرۀ حرارتی ارومیه صورت گرفته است، بررسی‌ها اغلب مربوط به دهۀ اخیر بوده اســت. در تحقیق حاضر، بررسی‌ها از حدود سی سال پیش (۱۹۸۹) تا ۲۰۱۸ با استفاده از چهار تصــویر (سال) با فواصل زمانی با استفاده از تصاویر ماهوارۀ لندست انجام گرفته است. مقایسۀ دمای سطحی کاربری‌های اراضــی ســالهای اخیر با دهه‌های قبل، تغییرات مکان جزیرۀ حرارتی را به نحو بهتری آشکار می‌کند. با بررسی جزیرۀ حرارتی شهری می‌توان با آگاهی بخشی، برنامه‌ریزان و مدیران شهری را با کمبودها و نیازهای فضای شهری آشنا نمود و لزوم ایجاد بسترهای مناسب را (فضای سبز، بوستان‌ها) برای تعدیل دمای شهری، یادآور شد و به این طریق آسیب‌های جزیرۀ حرارتی را کاهش داد.

1 Land Surface Temperature
2 Oluseyi et al., 2011
3 Normalized Difference Vegetation Index
4 Normalized Difference Build-up Index
5 Kaplan et al., 2018

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

شــهرارومیه، بخش مرکزی شــهرستان ارومیه و مرکز استان آذربایجان غربی است که در فاصله‌ی ۱۸ کیلومتری دریاچه‌ی ارومیه قراردارد. این شهر در جلگهٔ گسترده و سرسبزی به طول ۷۰ کیلومتر وعرض ۳۰ کیلومتر، درعرض جغرافیایی ۳۷ درجهٔ شمالی و طول جغرافیایی ٤٥ درجهٔ شرقی واقع شده است. اقلیم شهرستان ارومیه متأثر از عرض جغرافیائی، وزش بادها، وجود دریاچهٔ ارومیه، عبور جریانهای هوای مرطوب مدیترانه‌ای، توده‌های ســرد ســیبری، توپوگرافی منطقه، ارتفاع (۱۳۰۰ تا ۳۳۰۰ متر) و جهت‌گیری ارتفاعات است. (جوان، ۱۳۹۲).



شکل ۱- موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه

به منظورتحلیل زمانی و مکانی جزیرهٔ حرارتی، تصاویر لندست ۵ و ۸ سنجنده‌های،OLI،TM [1] و TIRS [2] مربوط به ماه اوت ســال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ مورد اســتفاده قرار گرفت. ماهوارهٔ لندست توسط کشور آمریکا طراحی و در سری‌های مختلف با حمل سنجنده‌های متفاوت به فضا پرتاب شدند. در ۲۳ جولای ۱۹۷۲ اولین ماهوارهٔ اختصاصی غیرنظامی برای بدست‌آوردن داده‌های قابل تکرار سنجش از دور از زمین با تفکیک مکانی کمتر از ۱۰۰ متر اعزام شد (گیبسون[3]،۲۰۰۰). سنجندهٔ TM [4]اولین بار در لندست ۴عملیاتی شد. این سنجنده دارای تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باند مرئی و ۱۲۰ متر برای باند مادون قرمز اســت. (رســولی،۱۳۸۷) .در ماهوارهٔ لندست ۸ که دارای دو

1 Optical Land Imager
2 Thermal Infrared Sensor
3 Gibson, 2000
4 Thematic Mapper

سنسور است، سنسور OLI داده‌ها را در ۹ باند طیفی موج کوتاه، در یک مسیر ۱۹۰ کیلومتری با قدرت تفکیک ۳۰ متر جمع‌آوری می‌کند. به جز باند پانکروماتیک[1] که قدرت تفکیک آن ۱۵ متر است. سنسور TIRSداده‌ها را برای دو باند حرارتی با تفکیک مکانی ۱۰۰ متر جمع‌آوری می‌کند (گروه تحقیقات داخلی زمین‌شناسی ایالات متحده[2]، 2019) در این تحقیق عملیات پیش پردازش و تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری بر روی تصاویر انجام شد. جهت استحصال نقشه‌های دمای سطح زمین برای تصاویر TM، روش حدآستانهٔ NDVIوقانون پلانک بر اساس محاسبات آرتیس وکارناهان انجام شد. برای تصویر TIRS، الگوریتم پنجرهٔ مجزا به کارگرفته شد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد مطالعه

تاریخ برداشت تصویر	ردیف	گذر	سنجنده
۱۶-۸-۲۰۱۸	۳۴	۱۶۹	OLI-TIRS
۱۳-۸-۲۰۱۱	۳۴	۱۶۹	TM5
۲۵-۸-۱۹۹۸	۳۴	۱۶۹	TM5
۲۴-۸-۱۹۸۹	۳۴	۱۶۹	TM5

۲-۲- تصحیح رادیومتریکی

برای استخراج دمای سطحی زمین، باندهای حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا در راستای تصحیحات رادیومتریک، تبدیل ارزش‌رقومی[3] به تابش‌طیفی[4] برای باند حرارتی تصاویر و محاسبهٔ بازتابش طیفی برای باندهای غیرحرارتی در سنجندهٔ TM با استفاده از توابع کالیبراسیون درمحیط نرم افزار ENVI ۵/۳ انجام گردید.

تبدیل ارزش رقومی‌به تابش طیفی:

رابطهٔ (۱): (گروه تحقیقات داخلی زمین‌شناسی ایالات متحده، ۲۰۱۹)

$$L_{\lambda} = Ml \times Qcal + A$$

L_{λ} : تابش طیفی

ML : ضریب چندگانهٔ مخصوص باند

QCAL: عددرقومی‌در محل پیکسل مورد نظر (تصویر خام مربوط به باند انتخاب شده)

AL: ضریب تجمعی مخصوص باند

1. Panchromatic
2. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2019
3. DN: (Digital Numbers)
4. Radiance

۲-۳- محاسبهٔ بازتاب طیفی [1]

رابطهٔ (۲): (گروه تحقیقات داخلی زمین‌شناسی ایالات متحده، ۲۰۱۹)

$$\rho_\lambda = \text{Mp} \times \text{Qcal+Ap}$$

ضریب چندگانهٔ مخصوص باند: Mp

(تصویر خام مربوط به باند انتخاب شده) باندهای غیر حرارتی:Qcal

ضریب تجمعی مخصوص باند: Ap

۲-٤- تبدیل تابش طیفی به دمای جسم سیاه

رابطهٔ (۳): گروه تحقیقات داخلی زمین‌شناسی ایالات متحده، ۲۰۱۹)

$$T_b \frac{k_2}{ln(\frac{k_1}{l_\lambda}+1)}$$

دمای روشنایی ماهواره بر حسب کلوین: T_b

تابش طیفی باندحرارتی : l_λ

ضرایب کالیبراسیون در فایل فرادادهٔ تصاویر موجود است : k_1 و k_2

یکی از شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی که اغلب شناخته شده است و به طور گسترده در مطالعات سنجش از دور به کار گرفته می‌شود، شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده است (علوی پناه،۱۳۹۰). در این شاخص مقدار عددی هر پیکسل بین ۱+ و ۱- متغیر می‌باشد و مقدار شاخص برای تصاویر TM و ETM+ از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود. (رسولی، ۱۳۸۷). این شاخص برای سنجندهٔ OLI، مطابق با همین رابطه محاسبه گردید. رابطهٔ (٤):

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{NIR+Red}$$

باند مادون قرمزنزدیک:NIR باند قرمز:red

۲-۵- تصحیح گسیلمندی

عدم انجام تصـحیحات گسیلمندی[2] منبع عمدهٔ خطا در تخمین درجهٔ حرارت سطوح است. به دلیل اهمیت این مسـئله کلیهٔ تصاویر حرارتی به وسیلهٔ فرآیند ذیل تصحیح شدند (امیری و همکاران، ۱۳۸٦). دراین پژوهش تصحیح توان تشـعشـعی برای تبدیل دمای جسم سیاه به دمای سطح زمین بر اساس سوبرینو و همکاران انجام گرفت. یکی از

1 Reflectance
2 Emissivity

روش‌های کاربردی جهت بدســت آوردن تصــاویر گسیلندی‌سطوح زمین[1]، از طریق شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده است (سوبرینو [2] و همکاران،۲۰۰٤) .میزان گسیلمندی بر اساس رابطهٔ زیر محاسبه گردید. رابطهٔ (۵):

$$\varepsilon = \varepsilon_{veg} p_v + \varepsilon_{soil} \ (1- p_v)$$

ε_{veg} : گسیلمندی پوشش گیاهی

ε_{soil}: گسیلمندی خاک p_v : نسبت پوشش گیاهی

نسبت پوشش گیاهی با استفاده از رابطهٔ زیرمحاسبه گردید. رابطه (٦):

$$P_v = [\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max-} NDVI_{min}}]^2$$

۲-٦- محاسبهٔ دمای سطح زمین

دمای سطح زمین برای تصاویر TM با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد (رانگ‌بو[3] و همکاران،۲۰۰۷) رابطهٔ (۷):

$$LST = \frac{TB}{1 + (\frac{\lambda \times TB}{\rho}) Ln\varepsilon}$$

TB : دمای روشنایی

λ: 11.5μm

ρ :۱/۸۳٤ × ۱۰ $^{-۲}$

ε : گسیلمندی سطح زمین

بازیابی دمای ســطح زمین برای باندهای حرارتی تصویر سال ۲۰۱۸ که متعلق به سنجندهٔ TIRS است، ازطریق الگوریتم پنجرهٔ مجزا صــورت گرفت. الگوریتم پنجرهٔ مجزا اثر اتمســفری را حذف می‌کند ودمای سطح زمین را از طریق ترکیب خطی یا غیرخطی دمای روشــنایی متعلق به دو باند مجاور ۱۱ و ۱۲ میکرومتر، به دســت می‌آورد (دو وهمکاران، ۲۰۱۵). مزیتی که این روش دارد، سادگی و کارآیی بالای آن است. این الگوریتم به اطلاعات دقیقی دربارهٔ مقطع عرضــی اتمسفری درطول دریافت ماهواره نیاز ندارد. این روش برای سنجنده‌هایی که تعداد باندهای حرارتی آنها کمتر از دو باند نباشــد، مناســب است. دمای سطح زمین برای لندست ۸ با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه گردید (رونگالی و همکاران،۲۰۱۸). رابطهٔ (۸):

$$LST = TB10 + C1\ (TB10 - TB11) + C2\ (TB10 - TB11)^2 + C0 + (C3 + C4W)\ (1 - \varepsilon) + (C5 + C6W)\ \Delta\varepsilon$$

1 LSE: Land Surface Emissivity
2 Sobrino et al., 2004
3 Rongbo et al., 2007

TB: دمای روشنایی

C0, C1…, C6: ضرایب الگوریتم

W میزان بخار آب اتمسفر

ε: میانگین گسیلمندی سطح زمین باندهای حرارتی

Δε: اختلاف میزان گسیلمندی سطح زمین باندهای حرارتی

دمای روشنایی، نسبت پوشش گیاهی و میزان گسیلمندی سطح زمین به روش‌هایی که پیش از این برای تصاویر TM بیان شد، در مورد تصویر ۲۰۱۸ نیز به کار گرفته شد. برای الگوریتم پنجرهٔ مجزا، اختلاف و میانگین دو باند حرارتی با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید. روابط (۹) و (۱۰):

$$\varepsilon = (LSE10 - LSE11) / 2 \qquad (9)$$

$$\Delta\varepsilon = (LSE10 - LSE11) \qquad (10)$$

ε: میانگین گسیلمندی سطح زمین باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱

Δε: اختلاف گسیلمندی سطح زمین باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱

جدول ۲- ضرایب مورد استفاده در الگوریتم پنجرهٔ مجزا

ضریب	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C0
ارزش	۱۶/۴۰۰	-۱۲۹/۲۰	-۲/۲۳۸	۵۴/۳۰۰	۰/۱۸۳	۱/۳۷۸	-۰/۲۶۸

پس از محاسبهٔ دمای سطح زمین، جهت بررسی ارتباط انواع کاربری‌ها با دمای سطحی و میزان توسعه و گسترش ناحیهٔ شهری، تصاویر با استفاده از روش حداکثر احتمال، طبقه بندی گردید. با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی وتصاویر GoogleEarth نمونه‌های تعلیمی انتخاب شده و پوشش زمین طبقه بندی گردید. به دلیل هم زمان نبودن تصاویر حرارتی اخذشده و ناهمگن بودن طبقات کاربری شهری در تصاویر به علت تغییرات کاربری، برای نتیجه‌گیری و بررسی تغییرات، دمای سطح به دست آمده با استفاده از رابطهٔ ۱۱ نرمال شد (علوی پناه،۱۳۹۰). دمای نرمال شده برای تمام تصاویر با استفاده از جدول شمارهٔ ۳ به پنج طبقهٔ دمایی تقسیم گردید. T_{max} مناطق دارای بیشترین حرارت و T_0 خنک‌ترین حرارت می‌باشد. رابطهٔ (۱۱):

$$T_{normal}=(T_s-T_0)/(T_{max}-T_0)$$

جدول ۳- نحوۀ طبقه بندی دمای سطحی نرمال

طبقه بندی دما	دامنۀ مربوط به هر طبقۀ دمایی
دمای بسیار پایین (۱)	۱/۵× انحراف معیار – دمای میانگین ≤ دمای سطح زمین
دمای پایین (۲)	دمای میانگین– انحراف معیار×۱/۵< دمای سطح زمین < دمای میانگین– انحراف معیار
دمای متوسط (۳)	انحراف معیار+ دمای میانگین ≤ دمای سطح زمین > انحراف معیار – دمای میانگین
دمای بالا (٤)	انحراف معیار×۱/۵+ دمای میانگین≤ دمای سطح زمین > انحراف معیار + دمای میانگین
دمای بسیار بالا (۵)	دمای سطح زمین > دمای میانگین+۱/۵×انحراف معیار

۲-۷- شاخص جزیرۀ حرارتی شهری

جهت بررسی تغییرات شدت جزیرۀ حرارتی ارومیه بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ از شاخص نسبت جزیرۀ حرارتی شهری استفاده شد. شاخص جزیرۀ حرارتی شهری روشی برای تعیین توزیع مکانی جزیرۀ حرارتی است. در این پژوهش، این شاخص با استفاده از رابطۀ زیر به دست آمد. نتیجه به ۵ گروه از جزایر حرارتی بسیار شدید تا بسیار ضعیف، مقیاس بندی گردید (ابو المقد و همکاران[1]، ۲۰۱٦) رابطۀ (۱۲):

$$UHI = \frac{T_i - T_a}{T_a}$$

T_i: دمای سطحی یک مکان

T_a: دمای سطحی میانگین

جدول ٤- نحوۀ طبقه‌بندی داده‌های نقشۀ جزیرۀ حرارتی

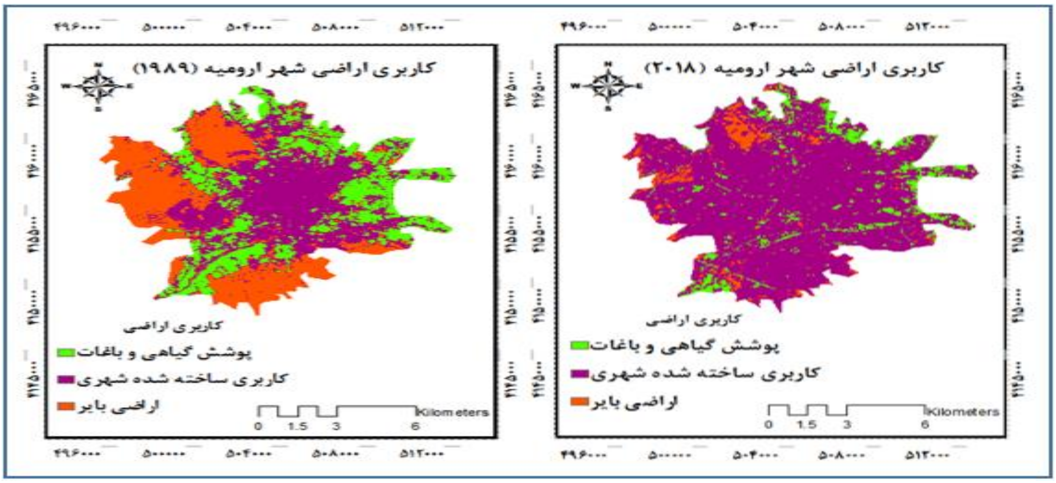
سطح ۱(نواحی بدون جزیرۀ حرارتی/ بسیار ضعیف)	**مقادیر شاخص کمتر از صفر**
سطح ۲(جزیرۀ حرارتی ضعیف)	مقادیر بین ۰ تا ۰/۱
سطح ۳(جزیرۀ حرارتی متوسط)	مقادیر بین ۰/۱ تا ۰/۲
سطح ٤ (جزیرۀ حرارتی شدید)	مقادیر بین ۰/۲ تا ۰/٤
سطح ۵(جزیرۀ حرارتی بسیار شدید)	مقادیر بیشتر از ۰/٤

۳- نتایج و بحث

مطابق با شکل شمارۀ ۲، طی بازۀ ۲۹ ساله مابین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ مطابق با نتایج حاصل از بررسی سال‌های مورد مطالعه، در پژوهش حاضر، شهر ارومیه به میزان قابل توجهی رشد وگسترش داشته است. نتایج به دست آمده از آشکارسازی تغییرات نشان داد حدود ۸۲٪ به میزان ۲٤۷۵ هکتار از اراضی بایر و حدود ۷۲٪ به میزان ۱۸۳۳ هکتار از اراضی کشاورزی، باغات اطراف شهر و پوشش گیاهی به کاربری شهری و ساخت‌وسازهای مربوط

1 Abou Elmagd et al., 2016

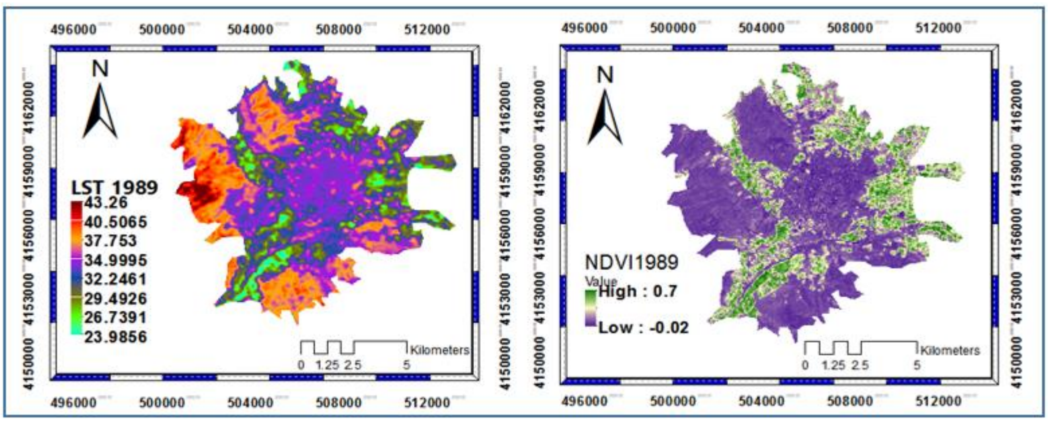
به آن تبدیل شده است. بدین ترتیب مساحت عظیمی از زمین‌های بایر وکاربری پوشش گیاهی به بافت شهری تغییر کاربری داده است. از سوی دیگر از اراضی بایر تنها حدود ۳٪ و یا به عبارتی ۱۱۸ هکتار و همچنین ٦٪ یا ۲۳۰ هکتار از اراضی کاربری شهری، به پوشش گیاهی تبدیل گردیده است.



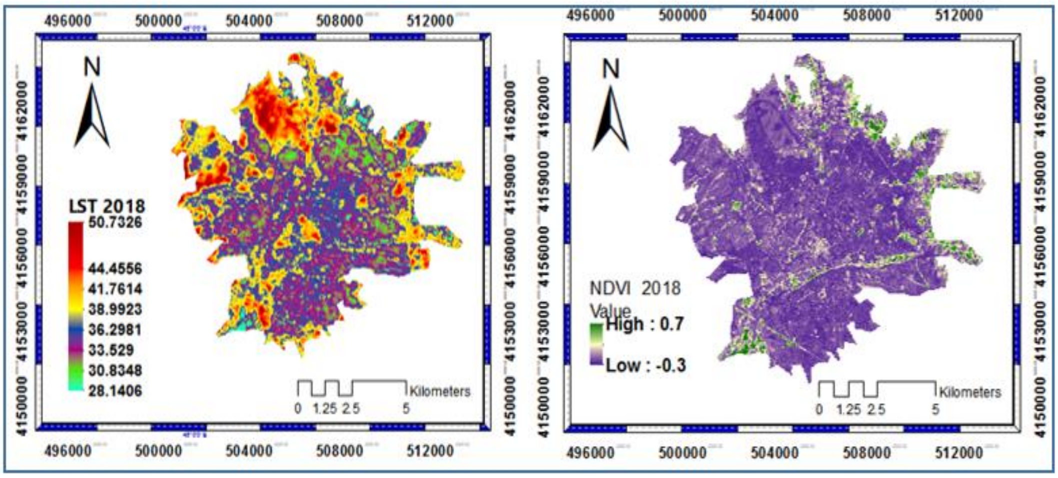
شکل ۲ - کاربری اراضی شهر ارومیه حاصل از طبقه بندی حداکثر احتمال (۲۰۱۸-۱۹۸۹)

۳-۱- رابطهٔ پوشش گیاهی با دمای سطحی

مطابق با شکل شمارهٔ ۳، تراکم قابل توجه پوشش گیاهی تقریباً در چهارسوی محدودهٔ شهری در تصویر ۱۹۸۹ به رنگ سبز مشاهده می‌شود. مطابق با شکل شمارهٔ ٤، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) کمترین میزان پوشش گیاهی را در محدودهٔ شهری ارومیه در اوت سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. با توجه به نقشهٔ دمای سطح زمین، محدوده‌های دارای تراکم پوشش گیاهی، دماهای پایین را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۳- توزیع دمای سطح زمین (سمت چپ) و پوشش گیاهی (سمت راست) در ارومیه (سال ۱۹۸۹)



شکل ٤- توزیع دمای سطح زمین (سمت چپ) و پوشش گیاهی (سمت راست)در ارومیه (سال ۲۰۱۸)

۳-۲- رابطهٔ دمای سطح زمین با انواع پوشش کاربری زمین

جهت بررسی دمای سطحی کاربری‌های منطقهٔ شهری ارومیه، از تابع Zonal Statistics در محیط Arc GIS استفاده شد. به منظور اعمال تابع و انجام بررسی‌ها، نقشهٔ کاربری اراضی و نقشهٔ دمای سطحی (LST) وارد تابع Zonal Statistics گردید. مطابق با جدول شمارهٔ ۵، در ماه اوت سال ۱۹۸۹ کاربری اراضی بایر بیشینهٔ دمایی بیشتری را نسبت به دو کاربری دیگر به خود اختصاص داده است. دمای بالاتر اراضی بایر نسبت به منطقهٔ شهری، به علت افزایش دمای دامنه‌های رو به خورشید، در طول روز است. همچنین پوشش خاک سریع‌تر از پوشش‌های دیگر گرم می‌شود. مطابق با جدول شمارهٔ ٦ درماه اوت ۲۰۱۸ دمای بیشینه متعلق به کاربری اراضی شهری است. علت این که در سال ۲۰۱۸ بیشینهٔ دما را کاربری شهری به خود اختصاص داده است، می‌توان این گونه بیان کرد که زمین‌های بایر به میزان زیادی تبدیل به ساخت وساز شهری شده است. از سوی دیگر، افزایش تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها از انتشار امواج بلند زمینی جلوگیری می‌کند و موجب افزایش گرما می‌شود. و علت دیگر، افزایش کارگاه‌های صنعتی و وسایل نقلیه است که با تولید حرارت منجر به افزایش گرمای محیط می‌شود. به همین دلیل در این سال (۲۰۱۸) نسبت به سال ۱۹۸۹، بیشینهٔ دما به کاربری شهری تعلق گرفته است. در مجموع، دمای هر سه کاربری در سال ۲۰۱۸ نسبت به سال ۱۹۸۹، افزایش داشته است.

جدول ٥- مقادیردمایی کاربری‌های اراضی در سال ۱۹۸۹ (به درجهٔ سانتیگراد)

کاربری اراضی (۱۹۸۹)	بیشینهٔ دما	کمینهٔ دما	میانگین دما	انحراف استاندارد
پوشش گیاهی و باغات	۳۸/۱٤	۲۳/۹	۲۹/۹۳	۲/۳
کاربری شهری	٤۰/۳٦	۲٦/٥	۳۳/۹٥	۱/٦
اراضی بایر	٤۳/۲٦	۲۸/۹	۳۷/۳۷	۲/۱

جدول ٦- مقادیردمایی کاربری‌های اراضی در سال ۲۰۱۸ (به درجهٔ سانتیگراد)

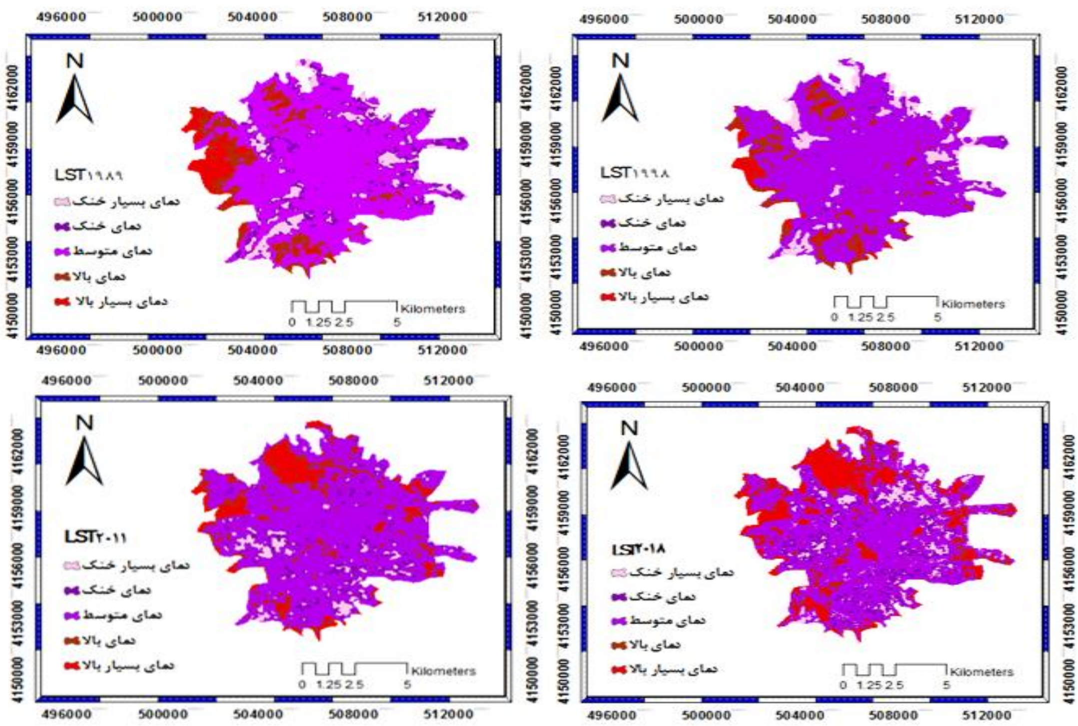
کاربری اراضی (۲۰۱۸)	بیشینهٔ دما	کمینهٔ دما	میانگین دما	انحراف استاندارد
پوشش گیاهی و باغات	٤۸/۲	۲۳	۳٥/۹۰	۳/۸
کاربری شهری	٥۰/۷	۲٥/۷٤	۳٦/٥	۳/۳
اراضی بایر	٥۰/۳	۳۲/۱۹	٤۳/٥	۲/٦

۳-۳- بررسی تغییرات مکانی و شدت جزیرهٔ حرارتی

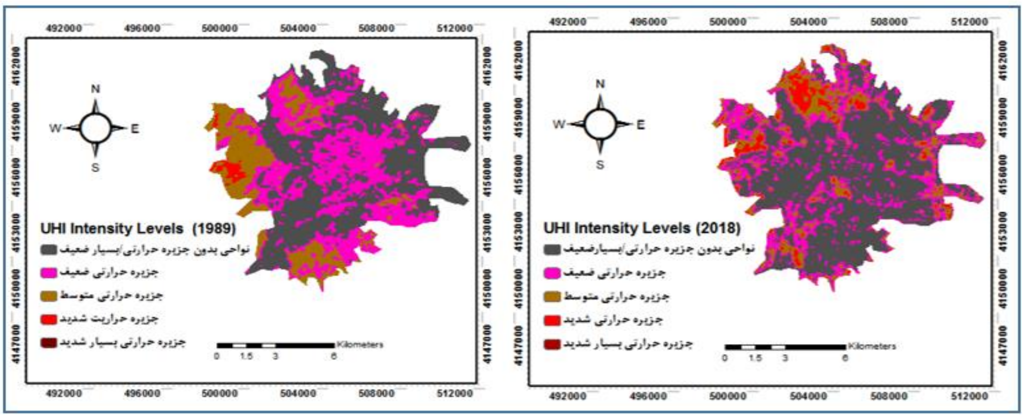
مطابق با شکل شمارهٔ ٥، بر اساس نقشه‌های طبقات دمایی، طبقهٔ دمایی متوسط در تمام سال‌های مورد مطالعه، بیش‌ترین مساحت را به خود اختصاص داده است. در طول مدت مورد مطالعه طبقهٔ دمایی بسیار خنک، کاهش داشته است. علت این امر از بین رفتن اراضی کشاورزی و باغات اطراف شهر درجهت گسترش و توسعهٔ شهر می‌باشد. از جمله باغات و اراضی زراعی شرق و جنوب شرق به سمت جادهٔ دریاچهٔ ارومیه، جادهٔ مهاباد وجادهٔ اشنویه و باغات و اراضی کشاورزی غرب شهر به سمت تفرجگاه طبیعی "بند" و همچنین اراضی کشاورزی جنوب شهر واقع در جنوب رودخانهٔ شهرچای هویت کاربری شهری به خود گرفته است. طبقهٔ دمایی بسیار گرم از سال ۱۹۸۹ حاکمیت خود را در قسمت شمالی شهر واقع در اراضی بایر و تپهٔ مشرف به آرامستان شهر و همچنین در شمال غرب شهر مربوط به اراضی قطعه بندی شده جهت گسترش شهر، حفظ کرده است. این طبقهٔ دمایی در سمت آرامستان افزایش داشته و در شمال غرب، کاهش یافته است. جزایر حرارتی جدیدی ایجاد شده است که مربوط به کارگاه‌های تولیدی و صنعتی و سوله‌ها و زمین‌های بایر در قسمت شمال‌شرق، جنوب‌شرق و شرق شهر است. طبقهٔ دمایی خنک و بسیارخنک مربوط به باغات حاشیهٔ شهر و فضای سبز پارک جنگلی و پوشش گیاهی حاشیهٔ رودخانهٔ شهرچای و پارک‌های محلی است. مطابق با شکل شمارهٔ ٦ و جدول شمارهٔ ۷، روند تغییرات زمانی جزیرهٔ حرارتی شهر ارومیه نشان داد که شاخص جزیرهٔ حرارتی روند افزایشی دارد. مقدار این شاخص برای سال‌های مورد مطالعه در جدول شماره ۷ ارائه شده است. علاوه بر گسترش فضایی جزیرهٔ حرارتی، شدت آن نیز در بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ افزایش داشته است.

جدول ۷- مقادیر شاخص جزیرۀ حرارتی

سال	۱۹۸۹	۱۹۹۸	۲۰۱۱	۲۰۱۸
مقدار شاخص جزیرۀ حرارتی	۰/۲	۰/۲	۰/۳۱	۰/۳۷



شکل ۵- تغییرات مکانی طبقات دمایی شهر ارومیه (اوت ۲۰۱۸-۲۰۱۱-۱۹۹۸-۱۹۸۹)



شکل شمارۀ ٦- نقشۀ جزیرۀ حرارتی شهر ارومیه برای سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۸۹

٤- جمع‌بندی

جزیرهٔ حرارتی به عنوان یک مخاطره پیامدهای مخربی برای زندگی شــهرنشــینان به دنبال دارد. شــهر ارومیه به عنوان کلانشهر در دههٔ اخیر با رشد سریع جمعیتی و صنعتی مواجه شده است که یکی از پیامدهای آن ایجاد جزایر حرارتی است. هدف از بررسی جزیرهٔ حرارتی در این تحقیق، تحلیل مکانی- زمانی این مخاطره است تا مکان‌های شکل گیری جزایر حرارتی در ارتباط با کاربری‌های اراضی شناسایی شود. در تحقیقات محدودی که پیرامون جزیرهٔ حرارتی ارومیه صــورت گرفته است، بررسی‌ها اغلب مربوط به دههٔ اخیر بوده است. در تحقیق حاضر، بررسی‌ها از حدود سی سال پیش (۱۹۸۹) تا ۲۰۱۸ با استفاده از چهار تصویر (سال) با فواصل زمانی با استفاده از تصاویر ماهوارهٔ لندست انجام گرفت. نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های جزیرهٔ حرارتی، نقشه‌های کاربری اراضی و دمای هریک از کاربری‌ها و نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی نشان داد که به لحاظ زمانی طی سال‌های مورد مطالعه، شاخص جزیرهٔ حرارتی در شهر ارومیه رشد و افزایش داشته است. مقدار این شاخص درسال ۱۹۸۹ بامیزان ۰/۲ به ۰/۳۷ درسال ۲۰۱۸ رســیده است. با توجه به نقشه‌های طبقات دمایی، طبقهٔ دمایی بسیار گرم از سال ۱۹۸۹ حاکمیت خود را در قسمت شــمالی شــهر واقع در اراضــی بایر و تپهٔ مشرف به آرامستان شهر و همچنین در شمال غرب شهر مربوط به اراضی قطعه‌بندی شده جهت گسترش شهر، حفظ کرده است. این طبقهٔ دمایی در سمت آرامستان افزایش داشته و در شمال غرب، کاهش یافته است. در سال‌های ۱۹۸۹و ۱۹۹۸ طبقهٔ دمایی بسیار بالا منطبق بر اراضی بایر بود اما با گذر زمان و افزایش ســاخت و سازهای شهری و ایجاد کارگاه‌های صنعتی و تولیدی و سوله‌ها در سمت شرق و شمال‌شرق و جنوب شــرق شهر، در سال ۲۰۱۸ طبقهٔ دمایی بسیار بالا در این مناطق از شهر ایجاد شده و جزایر حرارتی جدیدی شکل گرفته است. مطابق با نقشه‌های دمای سطح زمین و پوشش گیاهی، محدوده‌های دارای تراکم پوشش گیاهی، دماهای پایین را به خود اختصاص داده‌اند. طبقهٔ دمایی خنک و بسیارخنک مربوط به باغات حاشیهٔ شهر و فضای سبز پارک جنگلی و پوشش گیاهی حاشیهٔ رودخانهٔ شهرچای و پارک‌های محلی است. در سال ۲۰۱۸ از مساحت طبقهٔ دمایی بســیار خنک و خنک کاســته شــده است. علت این امر از بین رفتن مساحت بزرگی از اراضی کشاورزی و باغات شهر در طی مدت مورد مطالعه و تبدیل آن به کاربری شهری می‌باشد. از جمله باغات و اراضی زراعی شرق و جنوب شرق به سمت جادهٔ دریاچهٔ ارومیه، جادهٔ مهاباد و جادهٔ اشنویه و باغات واراضی کشاورزی غرب شهر به ســمت تفرجگاه طبیعی "بند" و همچنین اراضی کشاورزی جنوب شهر واقع در جنوب رودخانهٔ شهرچای، هویت کاربری شــهری به خود گرفته اســت. با توجه به نتایج حاصــل در این پژوهش، می‌توان گفت جزیرهٔ حرارتی شهر ارومیه از نظر فضــایی گســترش یافته و شــدت آن نیز افزایش پیدا کرده اســت. از جمله سایر تحقیقاتی که جزیرهٔ حرارتی ارومیه را مورد بررســی قرار دادند می‌توان به پژوهشــی اشــاره کرد که در آن ارتباط کاربری‌های مختلف با

جزیرهٔ حرارتی بررسی گردید (اسدی[1] و همکاران، ۲۰۱۹). در این تحقیق جزیرهٔ حرارتی مربوط به تاریخ ژوییهٔ سال ۲۰۱۵ با استفاده از تصویر لندست مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش، کاربری صنعتی و مناطق اداری- تجاری بیش‌ترین دمای میانگین را به خود اختصـــاص داد. در مقابل، مناطق دارای پوشـــش گیاهی از جمله پارک‌ها نقش مهمی‌در کاهش حرارت جزایر حرارتی داشــت. اما در پژوهشــی دیگر (ملکی و همکاران، ۱۳۹۷) با اســتفاده از آمار ایستگاه سینوپتیک و همچنین آمار دماسنج نصب شده در چندین ایستگاه در سطح شهر، جزیرهٔ حرارتی شهر ارومیه مورد مطالعه واقع شـد. نتیجهٔ حاصـل از این پژوهش، حاکی از کشـیده شـدن منحنی حداکثر دما به سمت شرق و جنوب شـرق شهر بود. پژوهشگران در این تحقیق، علت این امر را وجود کاربری صنعتی، کارگاهی و نقش جهت وزش باد بیان نمودند. همچنین رابطهٔ عکس بین دمای سطحی و پوشش گیاهی در این تحقیق مورد تأیید قرار گرفت. نتایج این تحقیق از لحاظ مکان جزایر حرارتی مشابه تحقیق حاضر بود. این نتایج مشابه از نظر مکان جزایر حرارتی دمای هوا (دمای ایسـتگاه‌های سـینوپتیک) و دمای سطحی (حاصل از تصاویر ماهواره‌ای) نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای در بررســی پدیده‌های طبیعی و غیرطبیعی کارایی و دقت باالیی دارند. با توجه به امکان ارزشـــمندی که سنجش از دور در فراهم سازی تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت باال و سیستم اطلاعات جغرافیایی در ایجاد پایگاه داده، یکپارچه ســـازی، تحلیل و ایجاد نقشـــه‌ها در اختیار محققین قرار می‌دهد، می‌توان در پژوهش‌های دیگری، جزیرهٔ حرارتی را با در نظر گرفتن عوامل طبیعی (ویژگی‌ها و معیارهای اقلیمی، ارتفاع، شـیب و جهت شیب) و همچنین عواملی که انسان در آن دخیل بوده است (مکان گزینی مناطق مسکونی، تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها و...) به صورت جامع و کامل برای سالها و فصول مختلف مورد بررسی قرار داد.

کتابنامه

ارســلانی، محسن؛ عزیزی، قاسم ؛ وخوش‌اخلاق، فرامرز؛ ۱۳۹۱. بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه‌های درختی. مجلهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطی،۱، صص ۱۱۰-۹۷.

امیری، رضا؛ علیمحمدی، عباس؛ و علوی پناه، سیدکاظم؛ ۱۳۸٦. مطالعهٔ تغییرپذیری فضایی- زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/ پوشش زمین در منطقهٔ شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی TMو ETM+ لندست. مجلهٔ محیط شناسی،٤٣، صص ۱۲۰-۱۰۷.

جوان، خدیجه؛ ۱۳۹۲. بررسی اقلیم گردشگری شهر ارومیه با استفاده از شاخص‌های زیست اقلیمی. فصلنامهٔ جفرافیا و برنامه ریزی شهری چشم انداز زاگرس، شماره ١٦، صص ٩٦-٨٣.

رسولی، علی‌اکبر؛ ۱۳۸۷. مبانی سنجش از دور کاربردی با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای. انتشارات دانشگاه تبریز.

1 Asadi et al., 2019

صـادقی نیا، علیرضا؛ علیجانی، بهلول؛ و ضیائیان، پرویز؛ ۱۳۹۱. تحلیل فضایی زمانی جزیرهٔ حرارتی کلانشهر تهران با استفاده ازسنجش ازدور وسیستم اطلاعات جغرافیایی. مجلهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطی، ٤، صص ۱۷-۱.

علوی پناه، سـیدکاظم؛ ۱۳۹۰. اصـول سـنجش ازدور نوین و تفسیرتصاویر ماهوارهای و عکس‌های هوایی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.

فیضی زاده، بختیار؛ دیده‌بان، خلیل؛ و غلام‌نیا، خلیل؛ ۱۳۹۵. برآورد دمای سطح زمین با استفاده از ماهوارهٔ لندست ۸ و الگوریتم پنجرهٔ مجزا. مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز مهاباد. فصل‌نامهٔ علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، شماره ۹۸، صص ۱۸۱-۱۷۱.

ملکی، سـعید؛ شـجاعیان، علی؛ و فرهمند، قاسـم؛ ۱۳۹۷. ارزیابی تغییرپذیری فضـایی- زمانی جزایر حرارتی در ارتباط با کاربری‌های شهری، مطالعهٔ موردی: شهر ارومیه. فصلنامهٔ علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، شماره ۱۰۵، صص ۱۹۷-۱۸۳.

ولیزاده کامران، خلیل؛ غلام‌نیا، خلیل؛ عینالی، گلزار؛ و موسوی، سید محمد؛ ۱۳۹٦. برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با اسـتفاده از الگوریتم پنجرهٔ مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره) مطالعهٔ موردی شهر زنجان (نشریهٔ پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، شماره ۳۰، صص ۵۰-۳۵.

هاشـمی‌دره بادامی، سیروس؛ درویشی بلورانی، علی؛ علوی‌پناه، سیدکاظم؛ ملکی، محمد؛ و بیات، رضا؛ ۱۳۹۸. تحلیل تغییرات جزیرهٔ حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چندزمانهٔ سنجندهٔ مادیس (مطالعهٔ موردی: کلانشهر تهران. نشریهٔ تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۵۲، صص ۱۲۸-۱۱۳.

Abou Elmagd, I., Ismail, A., & Zanty, N., 2016. Spatial Variability of Urban Heat Islands in Cairo City, Egypt using Time Series of Landsat Satellite Images. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS* 5: 1618-1638.

Asadi, Y., Ezimand, K., Keshtkar, H., & Alavipanah S.K., 2019. A Survey of Landscape Metrics and Land-use / land-cover Structures on Urban Heat Islands Surface: A Case Study on Urmia City, Iran. *Desert Journal*, pp: 205-218.

Department of the Interior U.S.Geological Survey., 2019. Landsat8 (L8) Data Users Handbook, LSDS-1574 Version 5.0.

Du, ch., Ren, H., Qin, Q., Meng, J., & Zhao, Sh., 2015. A Practical Split-Window Algorithm for Estimating Land Surface Temperature from Landsat 8 Data. *Remote Sensing Journal* 7: 647-665. DOI: 10.3390/rs70100647.

Gibson, P.(2000.Introductory Remote Sensing Principles and Concepts. Published by Routledge.

Hua, L., & Wang, M., 2012. Temporal and Spatial Characteristics of Urban Heat Island of an Estuary City, China. *Journal of computers*. 7:3082-3087.

Jin, M., Li, J., Wang, C., & Shang, R., 2015. A Practical Split-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat 8 Data and a Case Study of an Urban Area in China. 7: 4371-4390DOI: 10.3390/rs70404371.

Kaplan, G., Avdan, U., & Yigit Aavdan, Z., 2018. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat8 Satellite Data: A Case Study in Skopje, Macedonia. *Proceedings*, 2 (358):1-5. DOI:10.339./ecrs-2-05171.

Oluseyi, I., Danlami, M. S., & Olusegun, A.J., 2011. Managing Land Use Transformation and Land Surface Temperature Change in Anyigba Town, Kogi State, Nigeria. *Journal of Geography and Geology*, (3) 77: 77-85. DOI: 10.5539/jgg. v3n1p77.

Rongali, G., Keshari, A.K., Gosain, A.K., & Khosa, R., 2018. Split-Window Algorithm for Retrieval of Land Surface Temperature Using Landsat 8 Thermal Infrared Data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. pp: 1-19. DOI: 10.1007/s41651-018-0021-y.

Rong-bo, X., Zhi-yun, O., Hua, Z., Wei-feng, L., Erich, W.S., & Xiao-ke, W., 2007. Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*. 19:250–256.

Rose, A.L., & Devadas, M.D., 2009. Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery a case inchennal city, India. *The seventh International Conference on Urban Climate*, Yokohama, Japan.

Sobrino, J.A., Jime´nez-Munoz, J.C., & Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from Landsat TM5. *Remote Sensing of Environment* 90:434–440. DOI:10.1016/j.rse.2004.02.003.